



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A  
BIOMECHANIKY**

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

**NÁVRH A REALIZACE VÝUKOVÉHO MOBILNÍHO  
ROBOTU**

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF EDUCATIONAL MOBILE ROBOT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Jakub Suchý**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Michal Bastl**

**BRNO 2017**

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky  
Student: **Jakub Suchý**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Michal Bastl**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Návrh a realizace výukového mobilního robota

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem práce je návrh a realizace mobilního podvozku, který bude sloužit jako rozšíření pro výukovou platformu EduKit. EduKit je založen na obvodu MICROCHIP PIC18 a slouží k výuce embedded systémů v laboratoři mechatroniky. Součástí práce je výběr všech komponent, návrh a realizace potřebné elektroniky. Předpokládá se i vypracování demonstrační úlohy.

### Cíle bakalářské práce:

1. Vytvořte krátký úvod do problematiky rozšíření PIC EduKitu.
2. Vyberte vhodné komponenty s ohledem na cenu.
3. Navrhněte mechanickou konstrukci a uspořádání všech komponent.
4. Navrhněte elektroniku a DPS pro použití PIC18 z EduKitu.
5. Naprogramujte vhodnou demonstrační úlohu.
6. Proveďte zhodnocení výsledků práce.

### Seznam doporučené literatury:

Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995

Záhlava, V.: Návrh a konstrukce DPS, BEN, 2010

Microchip Technology Inc. – PIC18F4431 Data sheet,  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39616b.pdf>, přístup 3. listopadu 2016

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá návrhem a realizací kolového robotického podvozku, který bude sloužit jako rozšíření pro výukovou platformu EduKit. Obsahuje krátký úvod do problematiky rozšiřování této platformy, dále popis výběru vhodných komponent, návrh mechanických dílů a desek plošných spojů, sestavení podvozku a ověření některých jeho funkcí demonstrační úlohou.

## **Abstract**

This thesis deals with the design and realization of a wheeled robotic chassis which will serve as an extension for the EduKit learning platform. It contains a brief introduction to the problematic of expanding this platform, the description of the selection of suitable components, the design of mechanical parts and printed circuit boards, the assembly of the chassis and the verification of some of its functions by a demonstration task.

## **Klíčová slova**

Mobilní robot, dsPIC18F4431, EduKit, embedded systém

## **Keywords**

Mobile robot, dsPIC18F4431, EduKit, embedded system

## **Bibliografická citace**

SUCHÝ, J. *Návrh a realizace výukového mobilního robotu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Bastl.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Michala Bastla, s použitím zdrojů uvedených v seznamu použité literatury.

22. května 2017

---

Jakub Suchý

## **Poděkování**

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu práce Ing. Michalu Bastlovi, za cenné rady a připomínky při vypracování této práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b>	<b>7</b>
<b>1. ÚVOD</b>	<b>8</b>
<b>2. CÍL PRÁCE</b>	<b>9</b>
<b>3. PROBLEMATIKA ROZŠÍŘENÍ EDUKITU</b>	<b>10</b>
<b>3.1 EduKit</b>	<b>10</b>
3.1.1 Základní informace	10
3.1.2 Embedded systémy	11
3.1.3 Brainboard	11
3.1.4 Mikroprocesor dsPIC18F44431	12
3.1.5 Další příslušenství EduKitu	14
<b>3.2 Rozšíření</b>	<b>14</b>
3.2.1 Přínosy pro výuku	15
3.2.2 Součásti mobilního podvozku	15
<b>4. PRAKTICKÁ ČÁST</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Mechanická konstrukce</b>	<b>16</b>
4.1.1 Výběr a popis komponent	16
4.1.2 Návrh šasi podvozku	20
4.1.3 Výroba a montáž podvozku	23
4.1.4 Parametry podvozku	23
<b>4.2 Elektronika</b>	<b>24</b>
4.2.1 Návrh DPS Chassisboard	24
4.2.2 Návrh RGB line sensoru	28
4.2.3 Výroba a osazení DPS	30
<b>4.3 Demonstrační úloha</b>	<b>30</b>
4.3.1 Popis demonstrační úlohy	30
4.3.2 Program	30
<b>5. ZÁVĚR</b>	<b>33</b>
<b>6. POUŽITÁ LITERATURA</b>	<b>34</b>
<b>7. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b>	<b>35</b>
<b>8. SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>35</b>
<b>9. PŘÍLOHY</b>	<b>36</b>



# 1. Úvod

V dnešní době jsme stále více obklopeni různě složitými elektronickými zařízeními. Staly se nezbytnou součástí našich životů. Mnoho technických problémů, které bylo dříve možné řešit pouze mechanicky, lze dnes často jednodušeji a levněji řešit elektronicky.

Velká část elektrických i mechanických zařízení je řízena malými specializovanými mikrokontroléry, které jsou zabudovány do řízených zařízení a jsou navrženy pouze k jednomu účelu. Takové řídicí systémy se nazývají embedded systémy. [1]

Z důvodu masivního a stále se rozšiřujícího použití embedded systémů se Mechatronická laboratoř FSI VUT v Brně mimo jiné zabývá výukou jejich návrhu a programování. K tomuto účelu využívá vlastní výukovou platformu EduKit.

Ta je založena na obvodu Microchip dsPIC18 a umožňuje studentům naučit se tento mikroprocesor programovat a využívat jeho periferie. Umožňuje vyzkoušet si například řízení LED diody, snímání hodnoty odporu potenciometru, komunikaci s počítačem po různých rozhraních a mnoho dalšího.

Skládá se ze dvou hlavních desek plošných spojů (dále DPS). Menší DPS, nazývaná Brainboard, představuje embedded řídicí systém. Obsahuje mikroprocesor a podpůrné obvody, nezbytné pro jeho provoz, a slouží k řízení všech ostatních součástí EduKitu. Lze ji připojit k větší desce, nazývané Lowerboard, která obsahuje různé říditelné periferie.

Z výuky vzešel požadavek na další rozšíření EduKitu, a to formou mobilního kolového podvozku, který bude možné připojit k Brainboardu a řídit ho místo desky Lowerboard. Musí obsahovat vlastní zdroj energie a další periferie, které bude možné ovládat. Zároveň ale musí být levný a snadno vyrobitelný kvůli případné výrobě dalších kusů pro výuku. Návrh a realizace takového podvozku je cílem této práce.

## 2. Cíl práce

Hlavním cílem této práce je návrh a realizace kolového mobilního podvozku, který lze řídit připojenou DPS Brainboard z výukové platformy EduKit.

Nejprve je třeba zpracovat krátký úvod do problematiky rozšíření EduKitu. Poté je nutné vytvořit mechanický návrh podvozku, vybrat vhodné komponenty a určit jejich uspořádání. To vše s ohledem na cenu a jednoduchost výroby. Dále navrhnout DPS pro připojení Brainboardu a jeho propojení s ostatními komponentami. Tato deska bude sloužit i pro napájení celého podvozku a pro mechanické uchycení Brainboardu.

Po sestavení celého podvozku se předpokládá vypracování demonstrační úlohy, která ověří funkčnost některých jeho periférií.

## 3. Problematika rozšíření EduKitu

### 3.1 EduKit

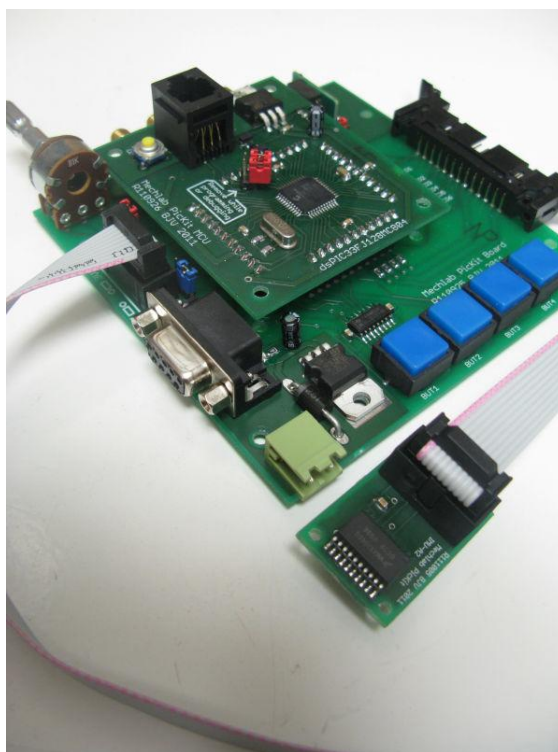
Tato kapitola se zabývá stručným popisem současného stavu EduKitu a jeho využití při výuce. Dále je uveden popis desky Brainboard a procesoru MICROCHIP dsPIC18F4431, kterým je osazena, s důrazem na informace podstatné pro návrh rozšíření EduKitu. Na konci kapitoly je stručný popis dalších zařízení, která jsou součástí EduKitu.

#### 3.1.1 Základní informace

EduKit je výuková platforma, sloužící k výuce embedded systémů (viz kapitola 3.1.2). Skládá se z několika funkčních celků, které lze podle potřeby připojovat a odpojovat. Základním prvkem je DPS nazvaná Brainboard. Obsahuje mikroprocesor dsPIC18F4431 a slouží k řízení ostatních, připojitelných zařízení.

V současné době je jediným zařízením, které je možné k Brainboardu připojit, další DPS nazývaná Lowerboard. Koncepce EduKitu však umožňuje snadné rozšíření o jakékoli jiné zařízení, které bude kompatibilní s Brainboardem. Během výuky tak bude možné programovat stále stejný mikrokontrolér a zároveň jím řídit různá zařízení.

Mobilní podvozek bude takovýmto připojitelným zařízením. Nebude mít žádnou vlastní řídicí jednotku, ale bude určen pro připojení Brainboardu. Je proto nutné navrhnout ho tak, aby umožňoval snadné připojení a odpojení Brainboardu, a jeho programování programátorem PICKit 3. Podrobnosti jsou uvedeny v kapitole 3.1.3.



**Obrázek 3-1 PIC EduKit**  
(převzato z [3])

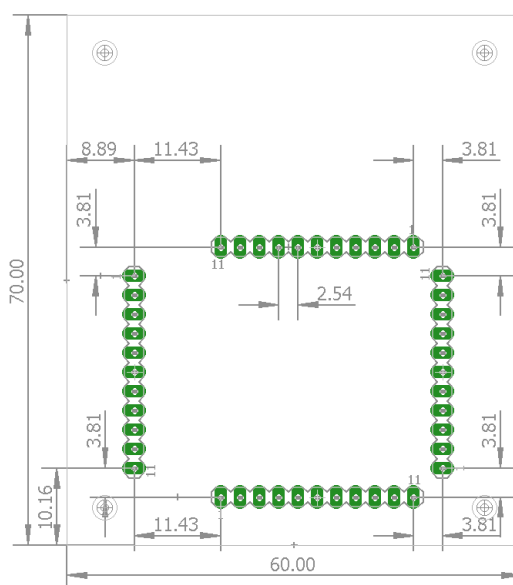
### 3.1.2 Embedded systémy

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1, jako embedded se označují specializované řídicí systémy, jejichž základním prvkem je mikrokontrolér. Obvykle bývají zabudovány do větších funkčních celků. Tyto systémy se používají pro automatizaci a řízení nejrůznějších zařízení od domácích spotřebičů, přes telefony a automobily, až po nejpokročilejší medicínské technologie. Jejich hlavní předností, oproti počítačovým systémům všeobecného použití, jsou nízká cena, malé zástavbové nároky a nízká spotřeba energie, která je důležitá zejména pro zařízení napájená z baterií. Nevýhodami jsou naopak relativně nízký výkon, malá paměť a potřeba různých podpůrných obvodů. Těmi jsou například sériová komunikační rozhraní, analogově - digitální převodníky, časovače, čítače, ochranné a dohlížecí obvody, generátory PWM signálu a další. [1][2]

Embedded systémy bývají obvykle programovány v jazyce C nebo C++. Tyto jazyky patří k nejstarším programovacím jazykům. Plnohodnotná práce v nich vyžaduje od programátora dobrou znalost použitého mikroprocesoru, průběhu jeho startu, systémů přerušení a paměti, i stavby celého zařízení. [1]

### 3.1.3 Brainboard

Je deska plošných spojů, nazývaná také Upperboard. Obsahuje mikroprocesor dsPIC18F4431 a slouží k řízení ostatních, připojitelných zařízení. Ta je možné připojit, pomocí čtyř jednořadých lišt oboustranných kolíků, každé s jedenácti piny. Jejich uspořádání je znázorněno na obrázku Obrázek 3-1. Jsou určeny k zasunutí do odpovídajících dutinek na řízeném zařízení. Jejich rozteč je 2,54 mm (0,1 palce) a používají se pro připojení jednotlivých pinů mikroprocesoru k ovládaným periferiím, mechanickému upevnění a napájení desky. [3]



**Obrázek 3-2 Rozmístění pinů na DPS Brainboard**

Součástí desky je také 8MHz krystal generující hodinové impulzy pro mikroprocesor. Na horní straně dále najdeme konektor pro programátor (PICKit 3 ICD),

dvě propojky pro konfiguraci programovacích pinů, resetovací tlačítko a kontrolní LED diodu, signalizující napájení.

Brainboard obsahuje vlastní stabilizátor napětí LF33CV, který zajišťuje napájení 3,3 V pro procesor. Pro jeho správnou funkci je nutné přivést na napájecí piny Brain Boardu napětí v rozmezí 3,7 až 16 V, ale není doporučeno překračovat 10 V. Jedná se totiž o lineární regulátor a vysoký ztrátový výkon, který z něj musí být odveden ve formě tepla, by zbytečně ohříval DPS. Napájecí piny nejsou chráněny proti přepólování, proto je nutné zajistit správnou polaritu napájení.[3]

### **3.1.4 Mikroprocesor dsPIC18F44431**

Jedná se o osmibitový mikroprocesor firmy Microchip, ve verzi pouzdra TQFP. Patří mezi tzv. RISC procesory (angl. Reduced Instruction Set Computing), neboli procesory s redukovanou instrukční sadou, které se vyznačují nízkou spotřebou a jsou určeny pro použití v embedded systémech.

Dokáže pracovat s napájecím napětím 2 až 5,5 V a na DPS BrainBoard je napájen napětím 3,3 V, které je přivedeno na piny 7 a 28. Pro logické obvody je na pinech 6 a 29 vyvedeno referenční napětí 3,3 V. [4]

Vnitřní programová paměť typu flash má velikost 16 KB, datová paměť RAM má velikost 768 B a datová paměť EEPROM má velikost 256 B.

Tento mikroprocesor umožňuje komunikaci rozhraními UART, SPI, I2C a SSP. Dále obsahuje jeden osmibitový a tři šestnáctibitové časovače, které mohou pracovat s frekvencí až  $4 \cdot 10^6$  Hz [5]

#### **Vstupně - výstupní piny**

Vstupně - výstupní piny (dále I/O) jsou uspořádány do pěti portů (A, B, C, D, E). Každý z portů má pro obsluhu I/O pinů tři vyhrazeny registry:

- TRIS registr, jehož hodnota určuje režim vstupu, nebo výstupu, pro každý pin
- PORT registr, který umožňuje číst logickou hodnotu na každém pinu
- LAT registr slouží pro definování výstupní hodnoty pinu (logická 0, nebo 1)

Absolutně maximální napětí na každém pinu je 3,6 V. Maximální proud je  $\pm 25$  mA. K dispozici je celkem 33 pinů, které mohou sloužit jako digitální vstupy a výstupy. Některé z nich slouží primárně jiným účelům (např. jako analogové vstupy) a pro použití jako I/O piny musí být nakonfigurovány podle datasheetu procesoru [4]

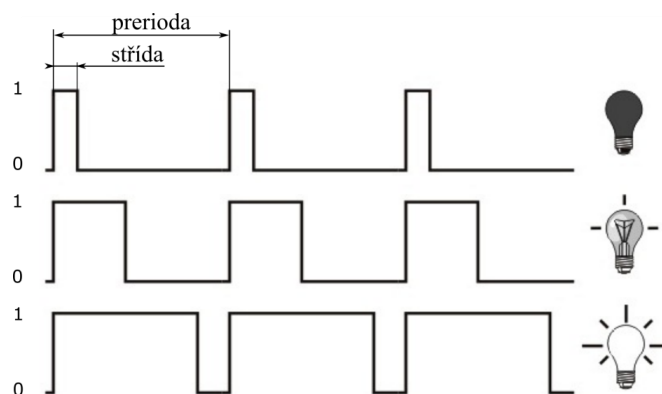
#### **PWM**

Většina procesorů dokáže generovat pouze digitální výstup, to znamená buď hodnotu 1 (zapnuto), nebo 0 (vypnuto). Řízení některých periférií ale vyžaduje tzv. analogový výstup, tedy možnost generování signálu o jakékoli hodnotě mezi 1 a 0.

Jako nejlevnější a nejjednodušší náhrada analogového signálu se používá pulzně šířková modulace signálu (PWM). Princip této metody spočívá v přepínání logické hodnoty výstupu mezi 1 a 0 s vysokou frekvencí. Požadované hodnoty "analogového" signálu se dosahuje poměrem času, kdy je na výstupu 1 a času, kdy je na výstupu 0. Tento poměr se označuje jako střída (angl. duty cycle) a nabývá hodnot od 0 do 1.

Pokud je PWM využito například pro řízení stejnosměrného motoru, chová se motor díky vlastní dynamice jako filtr, který na obdélníkový signál reaguje stejně jako na signál analogový.

Při využití PWM signálu pro regulaci intenzity svitu LED diody, slouží jako filtr lidské oko, které není schopné zaznamenat příliš rychlé blikání a vnímá ho jako stálý svit.



**Obrázek 3-3 Princip pulzně šířkové modulace**  
(převzato z [19], upraveno)

Pro generování PWM signálu lze využít POWER CONTROL PWM modul mikroprocesoru. Ten je určen pro generování synchronizovaných signálů pro ovládání motorů. Vlastní hodnota střidy lze proto nastavit pouze na čtyřech hlavních pinech (PWM1, PWM3, PWM5 a PWM7). Frekvence signálu je programovatelná, ale pro všechny piny stejná. Dále je možné zapnout PWM výstup i na čtyřech vedlejších pinech (PWM0, PWM2, PWM4 a PWM6), ale jde o výstupy závislé na hlavních pinech. Lze zvolit ze dvou typů závislosti:

- Independent mode - střída signálu závislého pinu bude stejná jako střída jemu nadřazeného hlavního pinu
- Complementary mode - střída signálu závislého pinu bude rovna rozdílu jedničky a střidy jemu nadřazeného hlavního pinu

Další možností generování PWM signálu je využití dvou CCP (Capture/Compare) modulů, které jsou pro tento účel přizpůsobeny. Na každém z nich lze generovat PWM signál s jinou střidou i frekvencí. Dohromady je tedy možné generovat šest nezávislých PWM signálů. Další PWM signály lze v případě potřeby generovat softwarově.[4]

### A/D převodník

Používání některých senzorů vyžaduje převod jejich analogového výstupního signálu na digitální. K tomuto účelu se využívají analogově-digitální převodníky (dále A/D převodník). PIC18F4431 umožňuje převod až devíti signálů současně. Jeho A/D převodník má vzorkovací frekvenci až 200 000 Hz a rozlišení 10 bitů. Protože je tento mikroprocesor osmibitový, ukládá výslednou hodnotu do dvou osmibitových registrů

ADRESH a ADRESL. Umožňuje převádět analogový vstup na číslo jednorázově, nebo kontinuálně. [4]

### **3.1.5 Další příslušenství EduKitu**

#### **Lowerboard**

Jedná se o desku plošných spojů, nazývanou také MechLab PicKit MCU board. Obsahuje různé komponenty, jako jsou tlačítka, LED diody, nebo stereo potenciometr (umožňující nastavení analogové hodnoty). Ty lze ovládat z připojené desky Brainboard. Dále také umožňuje připojení výukového modelu Double Drive, DPS s akcelerometrem MechLab PicKit IMU-A2, komunikaci přes rozhraní RS232(UART), SPI a I2C. Tato deska také zajišťuje napájení MechLab PicKit MCU boardu ze síťového AC adaptéru.[3]

#### **IMU-A2 BOARD**

Je malá DPS, osazená dvouosým analogovým akcelerometrem, kterou lze připojit k Lowerboardu. Akcelerometr MMA3204D od společnosti Freescale Semiconductor má analogový výstup a pro jeho připojení se používá 10-pinový kabel, který je také součástí EduKitu.[3]

#### **PICkit™ 3 In-Circuit Debugger**

Je programátor obvodů od společnosti Microchip, který je určen k vývojářskému programování. Připojuje se přímo k Brainboardu pomocí šestipinové lišty oboustranných kolíků na horní straně DPS. K počítači lze programátor připojit USB kabelem, který k němu výrobce dodává. Obsahuje tři indikační LED diody (power, active, status) a tlačítko, které je připraveno pro možné budoucí použití. Během programování Brainboardu musejí být rozpojeny propojky na jeho horní straně.[5]



**Obrázek 3-4 PICkit™ 3 In-Circuit Debugger**  
(převzato z [5])

## **3.2 Rozšíření**

V této kapitole je rozepsán základní koncept mobilního podvozku a jeho přínosy pro výuku. Také je uveden předpokládaný rozsah práce na jeho realizaci.

### 3.2.1 Přínosy pro výuku

V současné době se EduKit využívá především k základnímu seznámení s mikroprocesory dsPIC, dále k řízení výukového modelu Double Drive a k realizaci praktických úloh, týkajících se automatického generování zdrojového kódu v programu Matlab.

Rozšíření formou mobilního podvozku přinese několik dalších možností jeho využívání. Kromě seznámení se s fungováním dalších periférií, jako jsou ultrazvukový senzor vzdálenosti, snímač čáry, servomotor nebo součásti pro infračervenou komunikaci, půjde hlavně o možnosti vývoje a aplikace vlastních algoritmů. Kolový podvozek pro EduKit totiž umožní pohyb v reálném prostředí a interakci s předměty, které se v něm nacházejí. Může být využíván například pro sledování různě barevné čáry, vyhýbání se překážkám nebo komunikaci s dalšími podvozky, základní orientaci v prostoru a mnoho dalších úloh. Pro možnost interakce s uživatelem bude podvozek osazen tlačítky a LED diodami.

Nevyužité piny procesoru budou vyvedeny na snadno přístupné místo, aby bylo možné funkce podvozku dále rozšiřovat, nebo připojit a testovat jiná zařízení. K tomuto účelu bude umožňovat i napájení dalších zařízení buď přímo z baterie, nebo stabilizovaným napětím 5 V. Přístupné budou také všechny piny mikroprocesoru využívané pro různé typy komunikace.

V neposlední řadě může toto rozšíření také dále zatraktivnit výuku embedded systémů a přiblížit ji řešení praktických problémů.

### 3.2.2 Součásti mobilního podvozku

Pro podvozek bude nutné vybrat a nakoupit cenově dostupné komponenty. Jedná se o motory a kola, baterie, servomotor, ultrazvukový senzor a součástky pro příjem a vysílání infračerveného signálu. Budou preferovány součásti, běžně dostupné v českých kamenných nebo internetových obchodech, aby bylo možné sestavit v budoucnu další kusy tohoto rozšíření.

Dále je potřeba navrhnout a vyrobit šasi podvozku, které bude sloužit pro uchycení všech ostatních komponent. Přitom je nutné dbát na možnost snadného připojení a odpojení Brainboardu a jeho programování programátorem, snadné vyjmutí baterie kvůli jejímu nabíjení, správné umístění všech senzorů a celkově kompaktní rozměry. Také je nutné zvolit dostupný způsob výroby.

Součástí podvozku bude i deska plošných spojů sloužící pro připojení Brainboardu, umístění tlačítek a řízení a napájení všech periférií. Návrh a osazení této DPS s názvem Chassisboard je rozpracován v kapitole 4.2.1.

#### **Senzor barevné čáry**

Součástí podvozku bude senzor čáry, umístěný na spodní straně přední části. Možnosti využití senzoru značně rozšiřuje jeho schopnost detekovat různé barvy. Všechny cenově dostupné moduly pro snímání čáry jsou ale založeny na infračervených fototranzistorech, a proto mohou být použity pouze pro detekci černé čáry na bílém podkladu. Z toho důvodu bude vytvořen vlastní modul ve formě DPS se dvěma snímači barvy umístěnými vedle sebe a LED diodami pro osvětlení snímaného povrchu. Tento modul bude kabelem připojen k Chassisboardu a bude mít název RGB line sensor. Jeho návrh je podrobně rozepsán v kapitole 4.2.2.



## 4. Praktická část

### 4.1 Mechanická konstrukce

Tato kapitola se věnuje návrhu a výrobě mechanické části robota. Na začátku jsou popsány jednotlivé nakupované komponenty a zdůvodněn jejich výběr. Dále je zmíněn návrh šasi podvozku a způsob jeho výroby. V této kapitole jsou také uvedeny rozměry podvozku a jeho další mechanické parametry.

#### 4.1.1 Výběr a popis komponent

Výběr součástí byl ovlivněn hlavně požadavkem na jejich dostupnost a nízkou cenu. Většina nakupovaných komponent se celosvětově používá pro stavbu výukových zařízení, založených na platformě Arduino a jsou běžně dostupné v mnoha českých internetových i kamenných obchodech. Seznam nakupovaných komponent s odkazy do internetových obchodů je uveden v příloze seznam\_soucasti.xlsx

##### Motor s převodovkou

Jako pohon podvozku byl zvolen malý stejnosměrný motor se zabudovanou převodovkou a odnímatelným pojezdovým kolem. Kolo je plastové, pro lepší trakci osazené gumovým pláštěm. Motor je určen pro napájecí napětí 3 až 7 V a dosahuje maximální rychlosti 240 otáček za minutu, což odpovídá dopředné rychlosti  $0,8 \text{ ms}^{-1}$ , při použití dodávaného kola. Nominální proud motoru je 120 mA, výstupní moment motoru ani převodovky prodejce neudává. Hlučnost motoru s převodovkou je maximálně 65 dB. [6]

Tato sestava je často využívána pro stavbu amatérských mobilních robotů, obvykle založených na platformě Arduino. Je snadno dostupná a relativně velmi levná, což jsou hlavní důvody, proč byla vybrána pro tuto práci.

Při výběru byla zvažována možnost použití motoru s rotačním enkodérem, což je zařízení určené pro získávání zpětné vazby o rychlosti a směru otáčení kola. Tuto zpětnou vazbu lze využít pro podstatně přesnější řízení pohybu podvozku. Ceny nejlevnějších takových motorů, dostupných v českých obchodech ale začínají na 1500 Kč, což je desetinásobek ceny zvoleného motoru. Proto byl zvolen motor bez enkodéru.



**Obrázek 4-1 DC motor s převodovkou a kolem**  
(převzato z [6])

Výstupní hřídel převodovky může být osazen na obou koncích. Pokud by tedy bylo nutné v budoucnu získat zpětnou vazbu o jeho otáčení, bude možné na převodovku připojit samotný enkodér, bez nutnosti její výměny.

### Ultrazvukový senzor vzdálenosti

Při návrhu levných výukových a hobby robotů se celosvětově nejčastěji využívá senzor HC-SR04. Další dostupné senzory ve stejné kategorii, jako je například SRF02, jsou několikanásobně dražší a hůře dostupné.

Tento modul umožňuje detekci objektů ve vzdálenosti od 2 cm do 4 m, pod úhlem 15°. Princip jeho funkce je následující:

- Na spouštěcí pin, označený jako Trig, je nutné přivést spouštěcí pulz délky alespoň 10  $\mu$ s.
- Modul vyšle zvukový signál tvořený osmi obdélníkovými vlnami s frekvencí 40 kHz (lidské ucho je schopno vnímat zvuk maximálně s frekvencí 20 kHz)
- Poté, co se signál vrátí zpět, je na výstupním pinu, označeném jako Echo, nastavena logická 1. Je udržována po stejnou dobu, jaká uplynula mezi vysláním a přijetím zvukového signálu. Po uplynutí této doby je na tomto pinu nastavena logická 0.
- Z času, který potřeboval zvukový signál k překonání vzdálenosti k překážce a zpět, lze při znalosti rychlosti zvuku vypočítat vzdálenost překážky od snímače podle vzorce:

$$d = \frac{t}{2 * v_{zvuk}}$$

kde d je měřená vzdálenost, t je délka pulzu na pinu Echo a  $v_{zvuk}$  je rychlost zvuku, která je ve vzduchu orientačně 340  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . [7] [8]



**Obrázek 4-2 Ultrazvukový senzor HC-SR04**  
(převzato z [8])

Přesnost měření vzdálenosti závisí na přesnosti s jakou dokáže mikrokontrolér, ke kterému je modul připojen, změřit délku výstupního pulzu. Mikroprocesor dsPIC18F4431 dokáže měřit časové úseky s přesností 0,5  $\mu$ s a odchylka této délky se na změřené hodnotě projeví jako 0,17 mm. Jedná se však pouze o teoretickou dosažitelnou přesnost při zanedbání všech rušivých vlivů. Při testování byla dosažena přesnost asi

$\pm 0,5\text{cm}$ , která ale významně závisela na tvaru a struktuře povrchu měřeného objektu. Schopnost detekce předmětu byla také značně ovlivněna velikostí úhlu mezi směrem šíření signálu a normálovým vektorem rovinných ploch.

### **Servomotor**

Servomotor je zařízení, které zajišťuje natočení výstupního hřídele do polohy definované vstupním signálem. V mobilním podvozku bude sloužit pro otáčení ultrazvukovým senzorem okolo vertikální osy. [9]

Z důvodu nízké ceny, dobré dostupnosti a malých rozměrů byl vybrán servomotor SG90 9g. Je určen pro napájecí napětí 3 až 6 V. Při napájení 4,8 V udává prodejce rychlost  $60^\circ$  za 0,12 sekundy a sílu 12 kg/cm. K servomotoru jsou dodávány plastové páky na výstupní hřídel a šrouby. Jeho řídicí a napájecí kabel má délku 245 mm a k Chassisboardu bude připojen počítačovým konektorem se třemi piny. [10]

Pro řízení polohy servomotoru se na jeho řídicí pin přivádí pulzy s frekvencí 50Hz. Úhel natočení závisí na délce pulzu. Tu výrobce doporučuje v rozmezí 1 - 2 ms, čemuž odpovídá rozmezí natočení  $45^\circ$ . Středová pozice je dosažena pulzem o délce 1,5 ms.

Servomotor reaguje i na pulzy mimo toto rozmezí, ale při jejich používání hrozí dosažení mechanických limitů natočení servomotoru, které omezují rozsah otáčení na přibližně  $90^\circ$ . To může způsobit jeho nevratné poškození. [11]



**Obrázek 4-3 Servomotor SG90 9g**  
(převzato z [11])

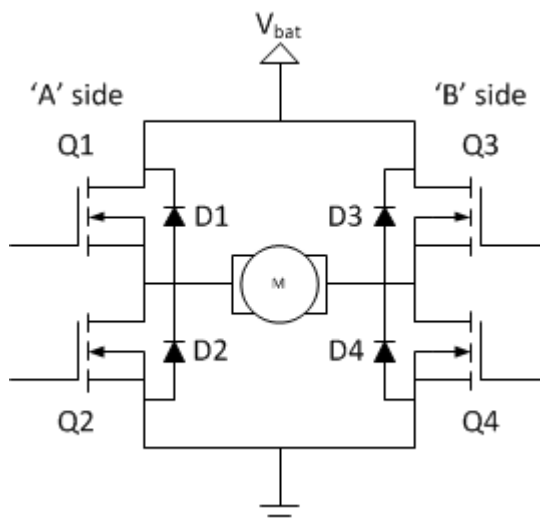
### **H-můstek**

Řízení stejnosměrných motorů se provádí regulací jejich napájení. K tomu je určena tzv. výkonová elektronika. Podle signálu z mikrokontroléru řídí veškerou elektrickou zátěž, pro kterou nestačí výkon jeho výstupních pinů.

Pro řízení stejnosměrných motorů se obvykle používá obvod sestavený ze čtyř tranzistorů a diod, zvaný H-můstek. Ten umožňuje ovládat slabým logickým signálem mikrokontroléru velkou elektrickou zátěž a navíc jednoduše měnit směr otáčení motoru.

Pro mobilní podvozek byl zvolen účelový modul obsahující dva integrované obvody L9110, které fungují jako H-můstky a jsou určeny pro připojení přímo k mikrokontroléru. Mohou být připojeny k napětí 2,5 až 12 V a dovolují průchod proudu až 800mA. Jejich součástí je také dioda umožňující průchod zpětného proudu a tím brání poškození obvodu při řízení indukční zátěže, jako jsou stejnosměrné motory.

Tento modul umožňuje řízení jednoho krokového, nebo dvou stejnosměrných motorů. Pro každý z motorů je nutné z mikrokontroléru přivést jeden PWM signál, který bude určovat rychlost otáčení daného motoru a dále jeden digitální signál, který bude určovat směr otáčení.



**Obrázek 4-4 H-můstek - schéma**  
(převzato z [21])

### IR senzory

Pro komunikaci v infračervené části světelného spektra (dále IR) byla zvolena IR dioda QEE113 společnosti FAIRCHILD, která bude sloužit jako vysílač. Dále byl zvolen IR přijímací modul OSRB38C9BA společnosti OptoSupply. Tyto dvě součásti budou tvořit jednotku pro IR komunikaci, která bude umístěna na přední a na zadní straně podvozku.

### Zadní otočné kolo

Při návrhu podvozku byl zvolen koncept smykem řízeného vozidla. To znamená, že rychlost jízdy i směr jízdy budou určovat pouze otáčky předních hnaných kol. V zadní části bude umístěno otočné kolo, které bude sloužit pouze jako podpora a nebude nijak omezovat pohyb podvozku. Bylo vybráno kolo EGA 030/GLP společnosti Montako, které se používá při výrobě nábytku. V otočné části vidlice z pozinkovaného plechu je dvouřadé kuličkové ložisko. Kolo je uloženo kluzně, s protivláknovými krytkami.

### Baterie

Nejprve bylo kvůli nízké ceně zvažováno napájení podvozku čtyřmi až šesti tužkovými AA bateriemi, uloženými v plastovém pouzdře. Od této možnosti však bylo později upuštěno kvůli jejich časově náročnému nabíjení. Místo nich bude použit akumulátor určený pro modelářské aplikace.

Bylo rozhodnuto použít Lithium-polymerový akumulátor (dále Lipol), což je typ akumulátoru používaný v mobilních telefonech, notebookech, nebo pro RC modely aut a letadel. Vyniká velkou kapacitou při malé hmotnosti, minimálním samovybíjením a

dlouhou životností. Netrpí paměťovým efektem, takže není nutné ho před nabíjením zcela vybit. Vícečláňkové Lipol baterie je nutné nabíjet speciálním zařízením, tzv. balancerem. Nutnost zakoupení tohoto zařízení značně prodražuje používání Lipol baterií, ale Mechatronická laboratoř toto zařízení již vlastní.

Lipol baterii je nutné vybrat se správným počtem článků, přiměřenou kapacitou a dostatečným vybíjecím proudem. Každý článek má nominální napětí 3,6 V, takže je nutné zvolit baterii minimálně dvoučláňkovou. Pro pohon RC automobilů se používají baterie s kapacitou od 1000 mAh, proto bude zvolena baterie s podobnou kapacitou. Maximální vybíjecí proud se u Lipol baterií udává počtem C.

Pokud tímto číslem vynásobíme kapacitu baterie v ampérhodinách, dostaneme maximální výstupní proud. Například při kapacitě baterie 2000 mAh a specifikaci 20 C, je maximální hodnota výstupního proudu rovna 40 A.

Podle výše popsaných měřítek a dále podle ceny a dostupnosti, byla zvolena dvoučláňková baterie LiPol Black Magic 7.4V 1300mAh 25C EC2.

Rozměry Lipol baterií nejsou nijak standardizovány, u zvolené baterie jsou:

- Délka 70,5 mm
- Výška 34,3 mm
- Šířka 15,8 mm

Tyto rozměry byly zohledněny při návrhu uložení baterie (viz kapitola 4.1.2) a v případě použití jiného typu baterie nemohou být bez úprav podvozku překročeny. Nominální napětí baterie je 7,4 V, kapacita 1300 mAh a maximální vybíjecí proud 32,5 A.



**Obrázek 4-5 LiPol Black Magic 7.4V 1300mAh 25C EC2**  
(převzato z [20])

Při úplném vybití Lipol baterie dochází k jejímu nenávratnému zničení. Řešení tohoto problému je popsáno v kapitole 4.2.1.

#### **4.1.2 Návrh šasi podvozku**

Pro výrobu šasi podvozku byly zvažovány dvě možnosti: využití 3D tiskárny, nebo úprava zakoupené plastové montážní krabičky. Vzhledem k množství komponent, které je potřeba do šasi umístit, a funkčních děr, které by bylo nutné ručně vytvářet, bylo zvoleno použití 3D tisku.

Tato technologie umožňuje návrh uložení všech komponent tak, aby bylo možné podvozek přímo sestavit bez nutnosti jakýchkoli mechanických úprav. Přináší však i některá omezení.

Největším problémem je nemožnost tisknout objekty výrazně přesahující svoji základnu. Tisk tělesa totiž probíhá postupným nanášením horizontálních vrstev, které musejí být nanášeny na pevný podklad. Při tisku výrazného přesahu se vytvářené vrstvy propadají.

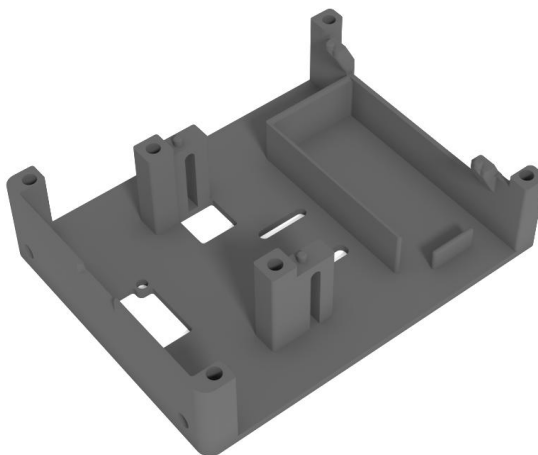
Tento problém lze řešit tisknutím tzv. podpor, které slouží jako podložka, pro nanesení dalších vrstev. Tyto podpory je však nutné po dokončení tisku manuálně odstranit, což značně stěžuje a prodlužuje výrobu podvozku. Proto bylo rozhodnuto navrhnout šasi tak, aby ho bylo možné vytisknout bez podpor a jakýchkoli dodatečných úprav.

Dalším omezením 3D tisku je malá rozměrová přesnost, oproti konvenčním postupům výroby. Při návrhu funkčních ploch děr je proto nutné přidat do 3D modelu potřebné vůle.

Modely dílů podvozku pro tisk byly vytvořeny v programu Autodesk Inventor 2015 a jsou součástí elektronických příloh této práce. Šasi podvozku bylo navrženo jako dvoudílné, tvořené horním a spodním dílem. Ty budou při montáži spojeny šesti šrouby M4x50.

Spodní díl slouží k uchycení

- motorů
- H-můstku
- RGB line sensoru
- předních LED diod
- baterie

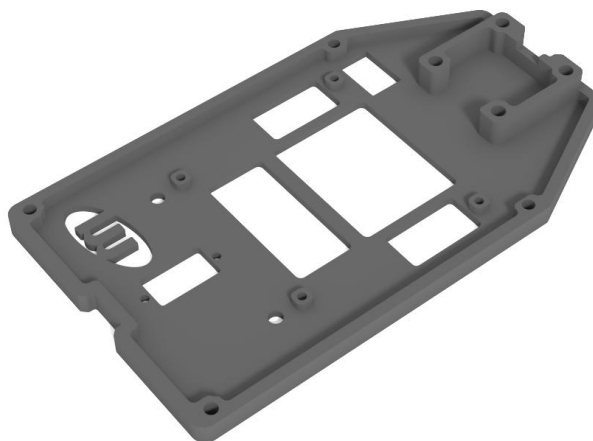


**Obrázek 4-6 Spodní díl podvozku**

Horní díl slouží k uchycení

- jednotek pro IR komunikaci
- servomotoru s ultrazvukovým senzorem
- zadního otočného kola
- vypínače napájení

Obsahuje také otvory potřebné pro připojení Brainboardu, umístění horních LED diod, tlačítek a vyvedení nepoužitých pinů. Je v něm také vytištěno logo Mechatronické laboratoře.



**Obrázek 4-7 Horní díl podvozku**

Spojením obou dílů vzniká uložení pro Chassisboard. Ten je upevněn vodícími čepy, které jsou součástí spodního dílu.

Maximální rozměry tisknutých těles jsou 190 x 110 x 38 mm, takže je lze bez problému vytisknout na většině 3D tiskáren. Pokud by byla pracovní plocha tiskárny menší, lze je vytisknout z více částí a tyto části slepit dohromady. Lepení 3D dílů zásadně neovlivňuje jejich pevnost.

Pro rychlý a levný tisk je třeba použít pouze přiměřené množství materiálu, nutné pro dostatečnou pevnost modelu. U dílů tisknutých na 3D tiskárně je ale obtížné určit jejich mechanické vlastnosti analyticky. Nejsou totiž ve všech směrech stejné, ale závisí na orientaci vrstev a vláken v nich. Navíc je kromě tvaru dílu, vlastností použitého plastu a typu výplně oblastí s velkou tloušťkou, zásadně ovlivňuje i kvalita tisku. Při výrobě se totiž jednotlivé vrstvy natavují na sebe. Při tisku v běžných podmínkách nelze zajistit stejnou kvalitu spojení všech vrstev. Proto byla pevnost modelu ověřena výrobou prototypu. [12]

V praxi se jako dostatečná ukázala tloušťka stěny 3 mm, na horním dílu vyztužena zesíleným okrajem o tloušťce 9 mm, který zabraňuje prohnutí podvozku. Pro díry se osvědčila vůle 1 mm v průměru. Při tisku hran se musí tisková hlava kvůli prudké změně směru téměř zastavit. Pro urychlení tisku byly proto všechny nefunkční svislé hrany zaobleny nejčastěji s poloměrem 2 mm.

K šasi podvozku byl navrhnout držák ultrazvukového senzoru, který bude umístěn na servomotoru. Tento díl bude také vytisknuto na 3D tiskárně. Ultrazvukový senzor je vyráběn různými výrobci v kvalitě odpovídající nízké ceně a jeho rozměry ne vždy odpovídají rozměrům udaným prodejcem. Při případné výrobě dalších kusů podvozku je proto možné, že bude nutná mírná úprava některých rozměrů držáku.



**Obrázek 4-8 Držák ultrazvukového senzoru**

#### **4.1.3 Výroba a montáž podvozku**

Všechny vyráběné díly byly vytisknuty na 3D tiskárně, kterou má Mechatronická laboratoř k dispozici. Cena materiálu, potřebného pro jejich vytisknutí, pro jejich vytisknutí je přibližně 50 Kč a doba tisku 7,5h.

K šasi podvozku byly přilepeny přední LED diody a jednotky pro IR komunikaci. Pomocí šroubů byl upevněn RGB line sensor, motory s převodovkami, servomotor, H-můstek a zadní otočné kolo. Do připraveného otvoru byl vsazen hlavní vypínač. Po vložení Chassisboardu byly obě nosné části podvozku sešroubovány k sobě. Následně byl držák ultrazvukového senzoru přilepen k plastovému dílu, dodávanému se servomotorem, a nasazen na servomotor.

Fotografie sestaveného podvozku jsou uvedeny v příloze Fotodokumentace.

#### **4.1.4 Parametry podvozku**

V následujícím textu jsou shrnuty celkové mechanické parametry podvozku a jeho cena.

- cena nakupovaných součástí je 1000 Kč
- cena materiálu pro díly tisknuté na 3D tiskárně je asi 50 Kč
- cena vyráběných DPS je 450 Kč
- celková cena podvozku je 1500 Kč



Celkové parametry podvozku	
Délka	190 mm
Šířka s nasazenými koly	174 mm
Šířka bez kol	130 mm
Výška	90 mm
Světlá výška	10 mm
Maximální rychlost	0,8 ms <sup>-1</sup>

## 4.2 Elektronika

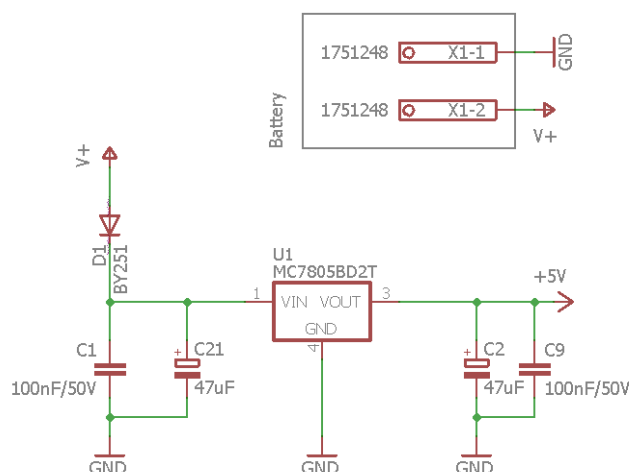
V této kapitole je podrobně popsán návrh a výroba DPS Chassisboard a RGB line sensor.

### 4.2.1 Návrh DPS Chassisboard

Chassisboard je deska plošných spojů, která slouží k napájení všech částí podvozku a jejich řízení z připojené desky Brainboard. V této kapitole budou popsány jednotlivé oblasti jejího návrhu. Schéma DPS je uvedeno v příloze chassisboard.sch. Data pro výrobu desky jsou obsaženy v příloze chassisboard.brd.

#### Napájení DPS

Napájení DPS i ostatních komponent je rozděleno do dvou částí. Výkonová část je napájena přímo z baterie. Pro řídicí část je zabezpečena správná polarita napájení usměrňovací diodou. Napájecí napětí je stabilizováno integrovaným obvodem L7805CD2T-TR na 5 V. Tento obvod má pouzdro D2PAK na maximální výstupní proud 1,5 A. [13]



Obrázek 4-9 Schéma stabilizace napájecího napětí

Pro připojení baterie slouží konektor EC2, který se běžně používá pro modelářské účely. Baterie je připojena přes kolébkový vypínač, který je zasunut do připraveného otvoru v horním dílu podvozku a slouží jako vypínač napájení celého zařízení.

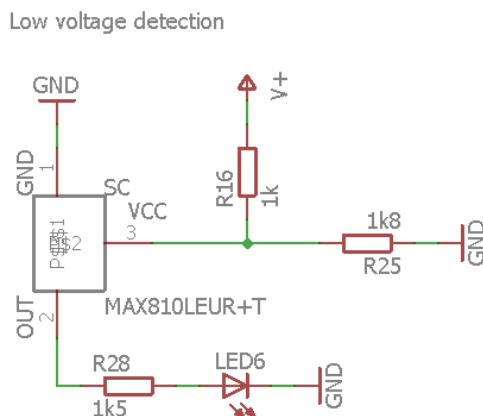
### Ochrana baterie

Při vybití Li-pol baterie pod určitou mez může dojít k jejímu nevratnému poškození. Obecně se jako nejnižší dovolené napětí na článek uvádí 3,6 V, které odpovídá vybití 97 % kapacity baterie.

Použitou dvoučláňkovou baterii je tedy nutné odpojit při poklesu napětí na 7,2 V. Protože v budoucnu může být podvozek napájen i jiným zdrojem, který může pracovat i při nižším napětí, je vybití baterie pouze signalizováno rozsvícením červené LED diody a odpojení musí provést uživatel podvozku jeho vypnutím.

Pro detekci nízkého napětí baterie je použit dohlížecí obvod MAX810LEUR+T. Tento integrovaný obvod v pouzdru SOT23-3 je navržen pro detekci nízkého napájecího napětí mikroprocesorů a má takzvaný active-HIGH push-pull výstup. To znamená, že při dostatečném napětí baterie je jeho výstup připojen k zemi. Při dosažení prahového napětí se obvod aktivuje a jeho výstup je připojen k napájecímu napětí. Při opětovném zvýšení napětí baterie nad hlídanou hodnotu zůstává výstup obvodu po dobu 140 ms připojen k napájecímu napětí a poté je připojen k zemi. Prahové napětí tohoto integrovaného obvodu je 4,63 V a maximální výstupní proud 20 mA.[14]

Dohlížecí obvod je připojen k baterii přes napěťový dělič, který napětí 7,2 V sníží na 4,629 V.



**Obrázek 4-10 Obvod hlídání napětí**

### Blokování napájení

Důležitou součástí návrhu DPS je tzv. blokování napájení. To je nutné pro napájení součástí s vysokou impulzní spotřebou (v řádu nanosekund), jako jsou hradla a číslicové obvody. Běžný stabilizátor napětí v kombinaci s nenulovou délkou vedení k dané součástce není schopen reagovat na zvýšenou spotřebu dostatečně rychle a takové zařízení nemusí být vůbec schopno funkce. Proto se do bezprostřední blízkosti napájecích pinů těchto součástí umisťují kondenzátory, které slouží jako krátkodobý zdroj energie při zvýšené spotřebě.

Pro blokování napájení jednotlivých komponent na DPS (tzv. decoupling) jsou v souladu se zavedenou praxí použity keramické kondenzátory s kapacitou 100 nF. Pro blokování napájení celé desky (bypassing), které slouží zároveň jako filtr vnějších vlivů, jsou použity elektrolytické kondenzátory s kapacitou 47  $\mu$ F. [15]

### Připojení Brainboardu

Pro připojení DPS Brainboard jsou určeny čtyři dutinkové lišty s roztečí 2,54 mm a každá s 11 piny. Byly umístěny podle rozměrů uvedených v kapitole 3.1.3.

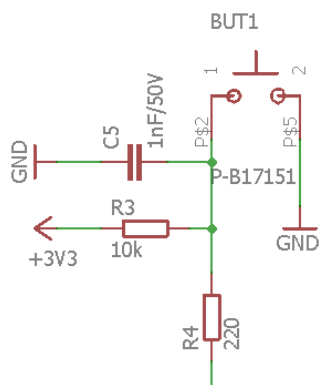
Pro přehlednost bylo pro přehlednost zavedeno mapování pinů, které je uvedeno v příloze Mapování pinů DPS Chassisboard. Zde je také popsáno, kterými piny mikroprocesoru jsou ovládány jednotlivé součásti podvozku.

### Zapojení tlačítek

Pro zapojení tlačítkových spínačů byl použit tzv. pull-up rezistor (R3), který na vstupní pin mikroprocesoru přivádí referenční napětí 3,3 V. Pokud je tlačítko stisknuto, je tento pin připojen k zemi. Jeho stavy jsou tedy definovány jako:

- logická 1 - tlačítko neaktivní
- logická 0 - tlačítko stisknuto

Pro potlačení kmitání vstupního signálu tlačítka je použit keramický kondenzátor o kapacitě 1 nF.



**Obrázek 4-11 Schéma zapojení tlačítek**

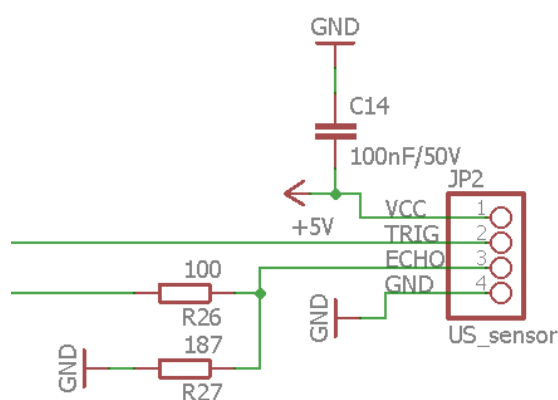
Při testování prototypu bylo zjištěno, že pin RB5/KBI1/PWM4/PGM, na který bylo přivedeno tlačítko BUT1, současně slouží pro přepnutí mikroprocesoru do programovacího režimu. Při zapnutí napájení tak byla na tento pin přes pull-up rezistor přivedena logická 1 a mikroprocesor se do programovacího režimu přepnul. Na prototypu bylo proto tlačítko odpojeno a v návrhu byla tato chyba opravena přepojením na pin RE1/AN7.

Piny RE0 a RE1 (tlačítka BUT2 a BUT1) jsou při zapnutí mikroprocesoru nastaveny jako analogové vstupy. Pro používání tlačítek je nutné jejich přepnutí do režimu digitálních vstupů.

### Připojení ultrazvukového senzoru vzdálenosti

Vstup Trig ultrazvukového modulu může být připojen na jakýkoli I/O a byl připojen na pin RC5. Na výstupu Echo je ale nutné měřit délku pulzů. Z toho důvodu byl připojen na pin KBI0, který umožňuje generovat přerušení při změně logické hodnoty. Mikroprocesor disponuje také piny CCP1 a CCP2, které umožňují přímo měření délky pulzu. Maximální měřitelný čas je však kratší, než je délka maximálního výstupního pulzu, proto by jejich použití vyžadovalo programové ošetření přetečení čítačů.

Modul HC-SR04 pracuje s napájecím napětím 5 V. Spouštěcí impuls na pin Trig může mít napětí 3,3 V bez vlivu na funkci. Výstupní napětí na pinu Echo bylo sníženo na hodnotu napájecího napětí mikroprocesoru napěťovým děličem.



Obrázek 4-12 Schéma připojení  
Ultrazvukového senzoru

### Připojení RGB line sensoru

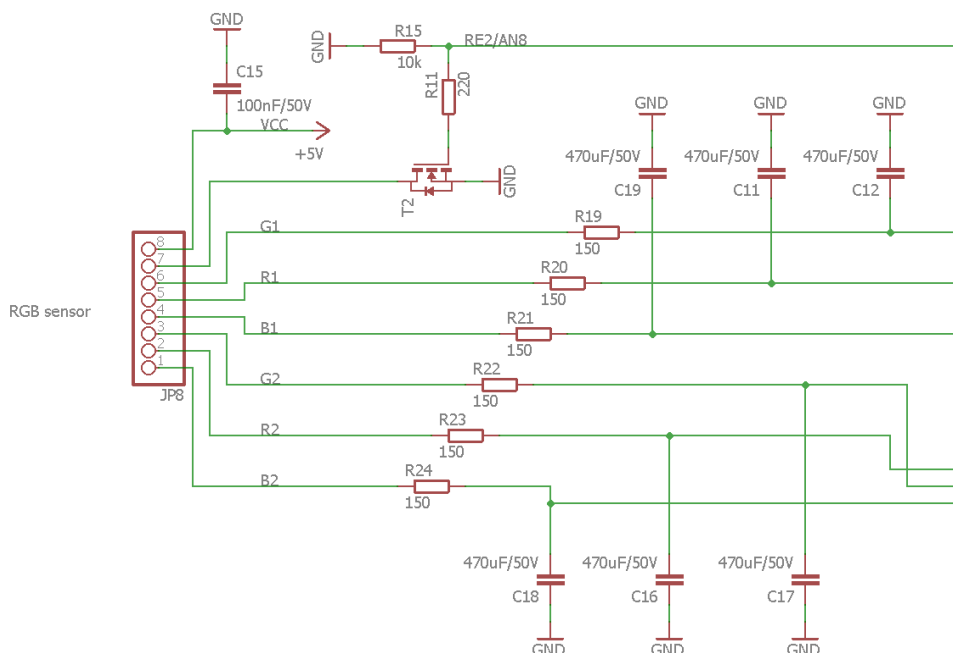
Výstupem z RGB line sensoru je šest analogových signálů (viz kapitola 3.2.2), které jsou zpracovávány analogově-digitálním převodníkem. Pro potlačení jeho negativních vlivů jsou použity RC filtry typu dolní propust. Jedná se o zapojení s odporem a kondenzátorem, které umožňuje potlačení signálu o vysoké frekvenci.

Napájení RGB line sensoru je řízeno NPN MOSFET tranzistorem AP2334GN-HF, aby se omezila spotřeba elektrické energie podvozku a bylo možné vypnout osvětlovací LED diody senzoru.

Schéma připojení RGB line sensoru je uvedeno na Obrázek 4-13.

### Připojení ostatních periférií

Horní LED diody (1 a 2) byly umístěny přímo na Chassisboard a mohou být řízeny příslušnými I/O piny, nebo pomocí jednoho výstupu PWM jako nezávislé, nebo komplementární (viz 3.1.4). PWM řízení však není možné při současném využívání ultrazvukového senzoru. Přední LED diody (3) byly připojeny pomocí svorkovnice MPT 0,5/2-2,54 společnosti Phoenix Contact a umístěny jako přední světlomety podvozku.



**Obrázek 4-13 Schéma připojení RGB line sensoru**

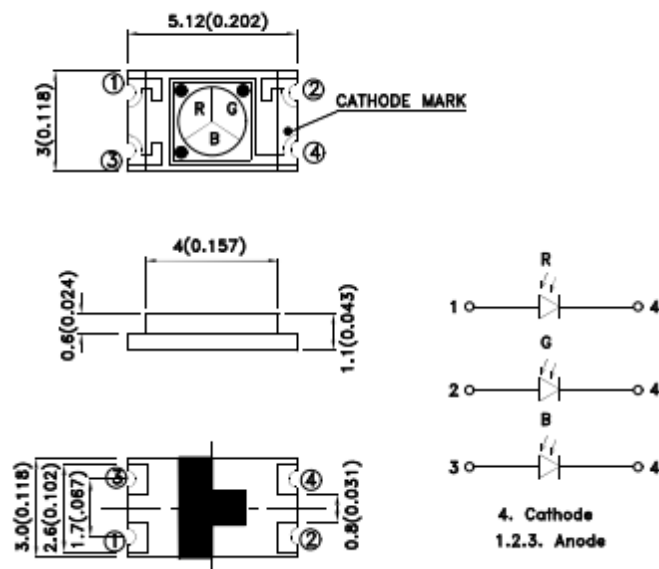
K příslušným pinům Brainboardu byly připojeny řídicí pin servomotoru, řídicí piny H-můstku a konektory jednotek pro IR komunikaci, pomocí lišt oboustranných kolíků s roztečí 2,54 mm (2 palce). Ostatní nevyužité piny byly vyvedeny na lištu dutinek stejné rozteče, na horní stranu Chassisboardu.

#### 4.2.2 Návrh RGB line sensoru

Při návrhu modulu pro snímání barevné čáry byly uvažovány dva cenově nejdostupnější snímače. Model TCS230 od společnosti AMS a KPS-5130PD7C od společnosti KINGBRIGHT ELECTRONIC. První z nich je programovatelný a funguje jako převodník barvy na frekvenci výstupního signálu. Druhý je podstatně jednodušší, je tvořen třemi křemíkovými fotodiodami. Před nimi je barevný filtr propouštějící na každou z nich jinou část světelného spektra. Osvětlení senzoru světlem určité barvy se projeví různou změnou výstupního proudu na jednotlivých fotodiodách. [16] [17]

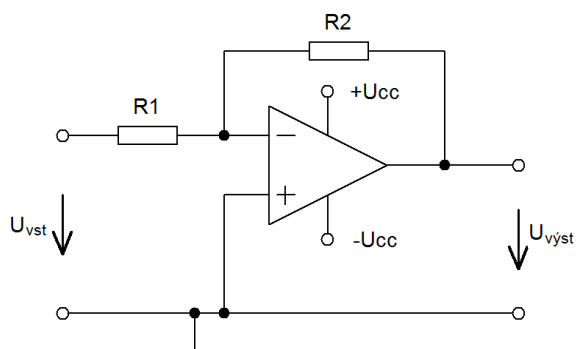
Pro jednoduchost a snadno srozumitelný princip činnosti byl zvolen senzor KPS-5130PD7C. Jedná se o tzv. RGB senzor, což znamená, že jeho výstup má tři kanály (red, green, blue). Vlnová délka zelené barvy je 560 nm, červené 630 nm a modré 470 nm. Jeho snímací úhel je 60°. Úbytek napětí na každém kanálu je 0,5V při maximálním osvětlení příslušnou barvou a 1,3 V při minimálním. Proud každého kanálu by neměl překročit 10 mA.

Pro zesílení signálu byl použit operační zesilovač (dále OZ). Musí být schopen pracovat na napájecím napětí 4,5 V a nesmí zabírat příliš mnoho prostoru. Proto byl zvolen integrovaný obvod LM358D, který pracuje s napájecím napětím 3 až 30 V. Umožňuje zesilovat dva kanály, proto byly tyto obvody potřeba 3.



**Obrázek 4-14 KPS5130PD7C**  
(převzato z [17])

OZ byl zapojen jako tzv. invertující zesilovač. Toto zapojení slouží k vynásobení vstupního napětí zápornou konstantou, jejíž velikost je dána poměrem odporů R2 a R1. [18]



**Obrázek 4-15 Invertující zapojení operačního zesilovače**  
(převzato z [18])

Pro osvětlení snímané části byly použity tři bílé LED diody s teplotou světla 6500K.

Pro napájení desky a přenos šesti výstupních analogových signálů bylo použito 8 vodičů, připájených přímo do DPS, které byly k Chassisboardu připojeny pomocí lišty oboustranných kolíků.

### 4.2.3 Výroba a osazení DPS

Obě desky plošných spojů byly vyrobeny specializovanou firmou a ručně osazeny v Mechatronické laboratoři. Cena za výrobu obou desek byla 450 Kč, při větším počtu vyráběných kusů by se dále snížila.

Většina osazovaných součástí je typu SMD, převážně v pouzdře 0805. Schémata a výrobní data obou DPS jsou obsaženy v přílohách. Pro jejich vytvoření byl použit program EAGLE 7.7.0. Seznam nakupovaných součástek, nutných pro osazení obou DPS je uveden v příloze seznam\_soucastek.xlsx.

## 4.3 Demonstrační úloha

V této kapitole je uveden popis demonstrační úlohy, která slouží k předvedení některých funkcí robotického podvozku.

### 4.3.1 Popis demonstrační úlohy

V rámci ukázkové úlohy pojede EduKit s podvozkem rovně pevně zvolenou rychlostí a bude ultrazvukovým senzorem měřit vzdálenost od překážek před sebou. Pokud detekuje překážku ve vzdálenosti menší než 60 cm, rozsvítí přední LED diody a bude s klesající vzdáleností zvyšovat intenzitu jejich světla pomocí PWM. Jakmile bude překážka ve vzdálenosti 25 cm a méně, budou přední LED diody rozsvíceny na 100 % a podvozek se zastaví. S využitím servomotoru otočí ultrazvukový senzor o 45° vpravo od střední pozice a změří vzdálenost k nejbližší překážce. Poté senzor vychýlí o stejný úhel vlevo a rovněž změří vzdálenost. Po porovnání těchto vzdáleností se celý podvozek natočí směrem, ve kterém detekoval větší volný prostor. Pokud budou naměřené vzdálenosti stejné, otočí se doprava.

Následně bude provedeno měření vzdálenosti před podvozkem. Pokud bude větší než 25 cm, bude pokračovat v jízdě. Pokud bude menší, provede další sérii měření vzdáleností na obou stranách a otočení.

Během testování programu se ukázalo, že snímací úhel ultrazvukového senzoru je příliš malý a nedokáže včas zaznamenat překážky, do kterých by podvozek narazil předním rohem. Proto jím během jízdy v normálním režimu servomotor periodicky otáčí o úhel  $\pm 20^\circ$ .

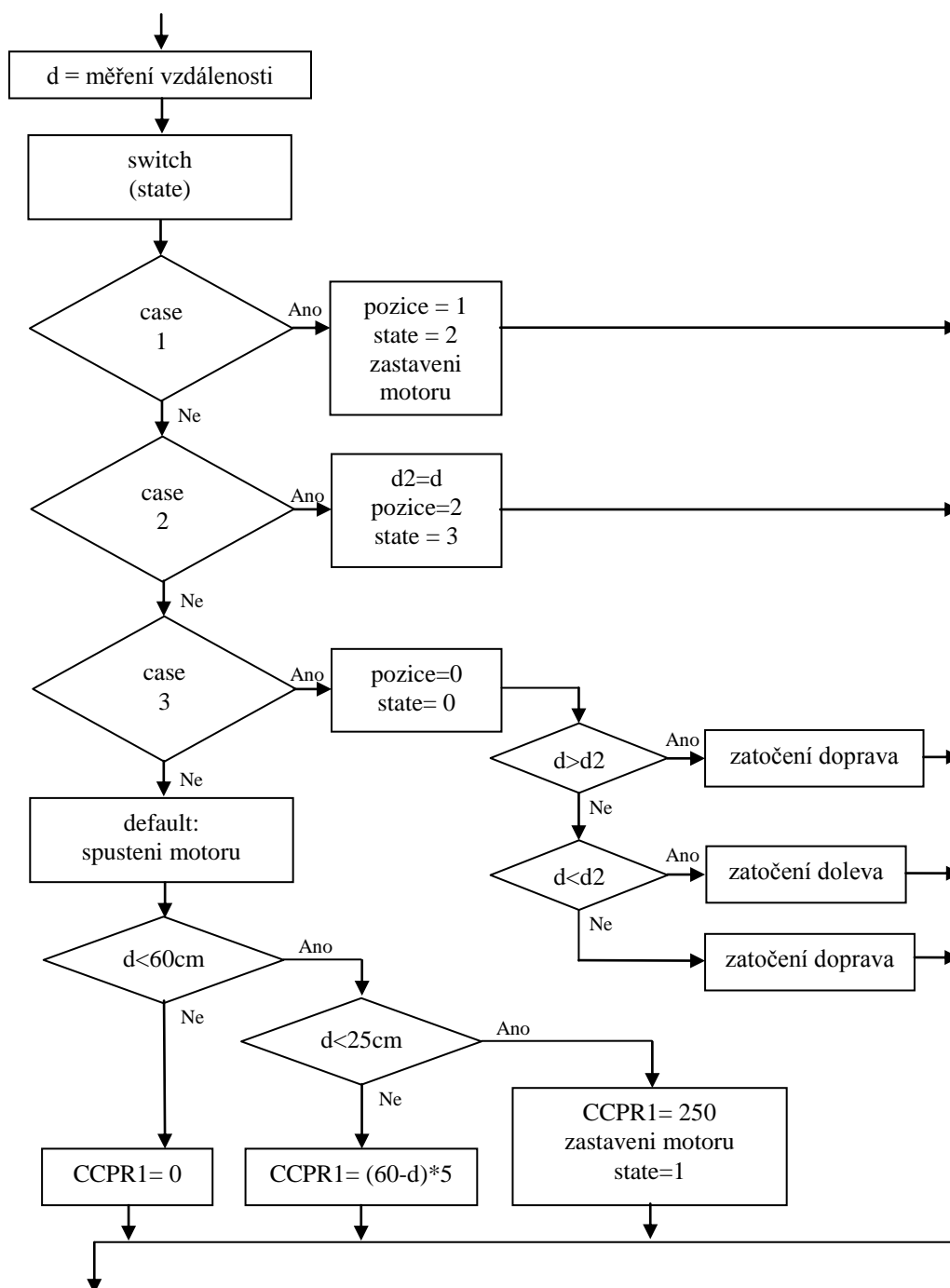
Aby bylo zajištěno bezpečné objetí překážky, otáčí se robot tak, že jedno kolo roztočí směrem vzad a druhé, o něco pomaleji, směrem vpřed.

### 4.3.2 Program

Na začátku programu je provedeno inicializační nastavení všech potřebných parametrů a definice proměnných. Poté je spuštěn nekonečný cyklus programu, který je popsán níže.

Při jízdě podvozku je hodnota proměnné state rovna 0. Probíhá pouze měření vzdálenosti, natáčení ultrazvukového senzoru a nastavování jasu LED diody. Jakmile je detekována překážka ve vzdálenosti menší než 25 cm, nabude proměnná state hodnoty 1. Dojde k zastavení motorů a postupně se provede měření prostoru vpravo a vlevo. Na základě těchto údajů je vyhodnoceno, ve kterém směru je více volného místa. Tímto směrem se podvozek otočí a pokračuje ve standardním běhu programu. To znamená, že znovu proměří vzdálenost překážek před sebou a pokud je větší než 25 cm, spustí motory.

Průběh nekonečného cyklu je popsán vývojovým diagramem (viz Obrázek 4-16 Vývojový diagram demonstrační úlohy). Zdrojový kód je v elektronické příloze demonstracni\_uloha.c, video demonstrační úlohy je v příloze demonstracni\_uloha.wmv.



**Obrázek 4-16 Vývojový diagram demonstrační úlohy**

### Přerušení

Demonstrační úloha využívá pro svůj běh tzv. přerušení (angl. interrupt). Ta mohou být generována přímo mikrokontrolérem (časovačem, softwarově), nebo nějakým externím zařízením. Pokud nastane přerušení, pozastaví se běh programu a



vykoná se jeho speciální část, tzv. obsluha přerušení. Po jejím skončení program pokračuje v dalším běhu tam, kde byl přerušen.

Přerušení je využito pro řízení servomotoru, které je prováděno posíláním řídicích impulsů délky 1 až 2 ms s frekvencí 50Hz. Pro tento účel je využit integrovaný 16 bitový časovač Timer5. Ten je nastaven tak, že s frekvencí 50 Hz dosáhne své maximální hodnoty, vynuluje se a vygeneruje přerušení. Toto přerušení je obslouženo funkcí, která vyšle signál o požadované délce.

Externí přerušení je využito pro provoz ultrazvukového senzoru. Na začátku každého cyklu je vyslán inicializační impuls na pin Trig, který vyšle ultrazvukové vlny. Výstup Echo je připojen na pin číslo 14 mikroprocesoru, který umožňuje generovat přerušení při změně logické hodnoty (tzv. interrupt on change). V momentě, kdy se vlny vrátí, je na pinu Echo nastavena logická hodnota 1. Tato změna vyvolá přerušení, jehož obslužná funkce spustí časovač Timer1. Ten slouží pro zjištění délky výstupního pulzu. Jakmile výstupní pulz skončí, je na pinu Echo nastavena logická nula. Tato změna vyvolá další přerušení, jehož obslužná funkce zastaví časovač, přečte jeho hodnotu a poté ji vynuluje. Následně vypočítá vzdálenost od nejbližší překážky.

## 5. Závěr

Cílem této práce je návrh a realizace rozšíření EduKitu formou mobilního kolového podvozku. V první části byl zpracován teoretický úvod do problematiky rozšíření EduKitu. Popisuje základní vlastnosti, funkce a možnosti využití této platformy. Dále se věnuje DPS Brainboard a použitému mikroprocesoru dsPIC18, s důrazem na informace nutné pro stavbu kompatibilního rozšíření.

V praktické části práce byly nejprve podle zadaných kritérií vybrány potřebné komponenty a stručně popsány jejich vlastnosti a funkce. Následně bylo v programu Autodesk Inventor navrženo dvoudílné šasi podvozku, s ohledem na jeho snadnou výrobu a nutnost uložení všech součástí. Vyráběné mechanické díly podvozku byly vytisknuty na 3D tiskárně. Tato část práce je popsána v kapitole 4.1.

Dále bylo nutné vytvořit dvě DPS. Jejich návrh byl proveden v programu Eagle 7.7.0 a je podrobně popsán v kapitole 4.2. Výrobu desek realizovala specializovaná firma, následně byly ručně osazeny s použitím mikropáječky v mechatronické laboratoři.

Podvozek byl kompletně sestaven a pro ověření některých jeho funkcí byla vypracována demonstrační úloha, která je popsána v kapitole 4.3. Umožňuje pohyb podvozku s EduKitem v prostoru, detekci překážek a předcházení kolizím změnou směru jízdy. V rámci úlohy byly ověřeny tyto funkce podvozku:

- napájení všech součástí a ochrana baterie
- řízení motorů a servomotoru
- měření vzdálenosti ultrazvukem
- řízení LED diod PWM signálem

Dále byla ověřena správná funkce tlačítek a horních LED diod. Na obou DPS byly v rámci testování zjištěny některé chyby. Jsou popsány v kapitole 4.2.1 a 4.2.2, a byly v návrzích desek opraveny.

V zadání byl formulován požadavek na nízkou cenu podvozku. Výroba jednoho kusu rozšíření 1500 Kč, cena nakupovaných součástí je 1000 Kč. I tomuto bodu zadání bylo tedy vyhověno, protože navržený podvozek je levnější než naprostá většina běžně dostupných podvozků podobného typu.

V nejbližší době je v plánu výroba opravených verzí DPS Chassisboard a RGB line sensor. Následně bude zpracována úloha na sledování čáry a výhledově i úloha využívající IR komunikaci. Pokud se podvozek navržený v této práci osvědčí, bude vyrobeno několik dalších kusů, které budou zařazeny do výuky.

## 6. Použitá literatura

1. **Volný, Petr.** Úvod do embedded systémů. *DPS Elektronika od A do Z*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://www.dps-az.cz/vyvoj/id:6173/uvod-do-embedded-systemu>.
2. **Gondane, Rahul.** Understanding of Embedded Systems. *EDGEFX official blog*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://www.edgexkits.com/blog/embedded-systems-with-applications/>.
3. **Vejlupek, Josef.** PIC Edu Kit Data Sheet. Brno : Mechatronics Laboratory, ISMMB, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, 22. září 2012.
4. **Microchip Technology Inc.** PIC18F4431 Data sheet. [Online] 2003. [Citace: 3. květen 2017.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39616b.pdf>.
5. **Microchip Technology Inc.** PICkit™ 3 In-Circuit Debugger. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://www.microchip.com/Developmenttools/ProductDetails.aspx?PartNO=PG164130>.
6. **Robotstore.cz.** DC Motor Převodovka Kolo s Pneumatikou Arduino Robot. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://robotstore.cz/obchod/arduino/dc-motor-prevodovka-kolo-s-pneumatikou-arduino-robot/>.
7. **Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT.** Ultrazvuk (1): Co je to ultrazvuk? *Biomedicínský portál POPULAR*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://popular.fbmi.cvut.cz/biomedicina/Stranky/Ultrazvuk-1---Co-je-to.aspx>.
8. **ElecFreaks.** HC-SR04 User Guide. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] [http://www.electfreaks.com/store/download/product/Sensor/HC-SR04/HC-SR04\\_Ultrasonic\\_Module\\_User\\_Guide.pdf](http://www.electfreaks.com/store/download/product/Sensor/HC-SR04/HC-SR04_Ultrasonic_Module_User_Guide.pdf).
9. **ServoCity.** What is a Servo? [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <https://www.servocity.com/what-is-a-servo>.
10. **Robotstore.cz.** SG90 9g Micro Servo Arduino Modul Robot. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://robotstore.cz/obchod/arduino/sg90-9g-micro-servo-arduino-modul-robot/>.
11. **micropik.com.** SG90 9g Micro Servo. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://www.micropik.com/PDF/SG90Servo.pdf>.
12. **Henry, Joel.** 3D Print Orientation and the Effect on Part Strength. *Sparx Engineering*. [Online] <http://www.sparxeng.com/blog/mechanical/3d-print-orientation-effect-part-strength>.
13. **STMicroelectronics.** Positive voltage regulator ICs L78. *tme.eu*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://www.tme.eu/cz/Document/ca9f9ea733232dbf9060d5224849cc58/L78.pdf>.
14. **maxim integrated.** MAX803/MAX809/MAX810 3-Pin Microprocessor Reset Circuits. *tme.eu*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://www.tme.eu/cz/Document/54d32d3dd74f10fed224c9680013155b/MAX809LEUR+.pdf>.
15. **Záhlava, Vít.** *Návrh a konstrukce desek plošných spojů*. Praha : BEN - technická literatura, 2010. 978-80-7300-266-4.
16. **AMS.** TCS3200 Color Sensor. *AMS*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://ams.com/eng/Products/Light-Sensors/Color-Sensors/TCS3200>.

17. **Kingbright.** KPS-5130PD7C. *tme.eu*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://www.tme.eu/cz/Document/28389fc585e22a5ad68e51bf885f585a/KPS-5130PD7C.pdf>.
18. **ELUC.** Invertující zapojení operačního zesilovače. *ELUC*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/689>.
19. **George, Ligo.** Generating PWM with PIC Microcontroller – MPLAB XC8. *electroSome*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <https://electrosome.com/pwm-pic-microcontroller-mplab-xc8/>.
20. **Modelarina.cz.** LiPol Black Magic 7.4V 1300mAh 25C EC2. *Modelarina.cz*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://www.modelarina.cz/lipol-black-magic-74v-1300mah-25c-ec2-p-42070.html>.
21. **modularcircuits.com.** H-Bridges – the Basics. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://www.modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge-secrets/h-bridges-the-basics/>.

## 7. Seznam použitých zkratk a symbolů

A	ampér
A/D	analogově-digitální převodník
Ah	ampérhodina
BUT1 - BUT4	tlačítka 1 až 4
GND	uzemnění
Hz	hertz
I/O	vstupně-výstupní piny (angl. Input/Output)
I2C	Inter-Integrated Circuit (typ komunikace)
LED	dioda emitující světlo (angl. Light Emitting Diode)
PWM	pulsně šířková modulace (angl. Pulse Wide Modulation)
RISC	procesory s redukovanou instrukční sadou
SPI	sériové periferní rozhraní
SMD	součástka pro povrchovou montáž (angl. surface mount device)
UART	asynchronní komunikace
V	volt
Vcc	napájení

## 8. Seznam příloh

### Tištěné přílohy

- Příloha č. 1 Mapování pinů DPS Chassisboard
- Příloha č. 2 Fotodokumentace
- Příloha č. 3 Schéma a návrh DPS Chassisboard
- Příloha č. 4 Schéma a návrh DPS RGB line sensor

### Elektronické přílohy

- seznam\_soucasti.xlsx - seznam nakupovaných komponent
- chassisboard.sch - schéma DPS Chassisboard
- chassisboard.brd - data pro výrobu DPS Chassisboard
- RGB\_line\_sensor.sch - schéma DPS RGB line sensor

- RGB\_line\_sensor.brd - data pro výrobu DPS RGB line sensor
- horni\_dil\_3D.stl - CAD model horního dílu podvozku
- spodni\_dil\_3D.stl - CAD model spodního dílu podvozku
- ultrazvuk\_drzak\_3D.stl - CAD model držáku ultrazvukového senzoru
- demonstracni\_uloha.c - zdrojový kód demonstrační úlohy
- demonstracni\_uloha.wmv - video demonstrační úlohy

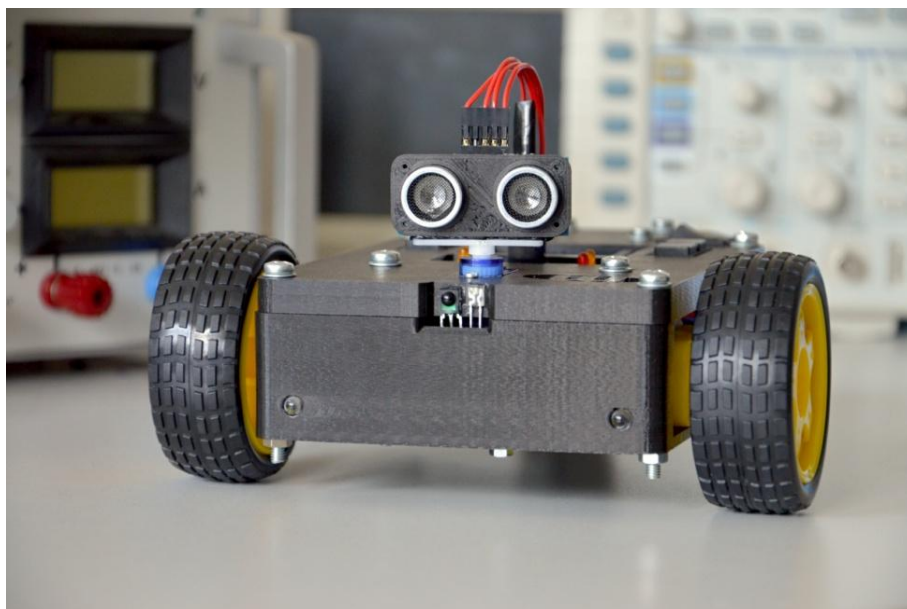
## 9. Přílohy

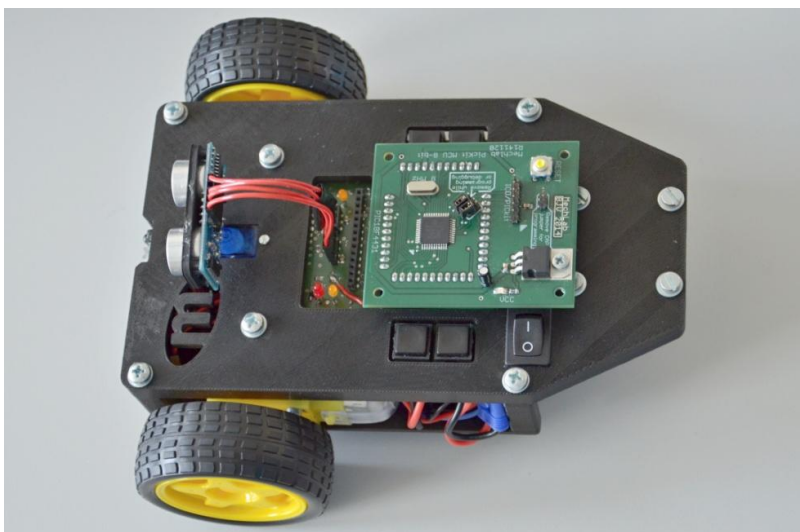
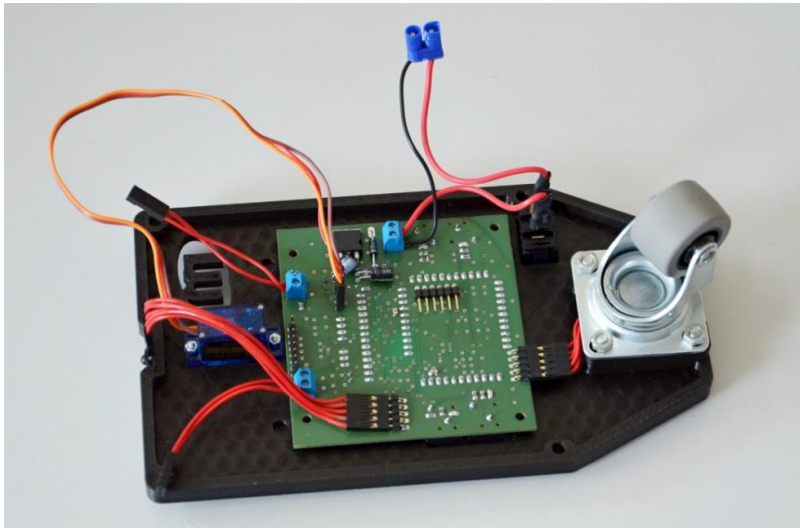
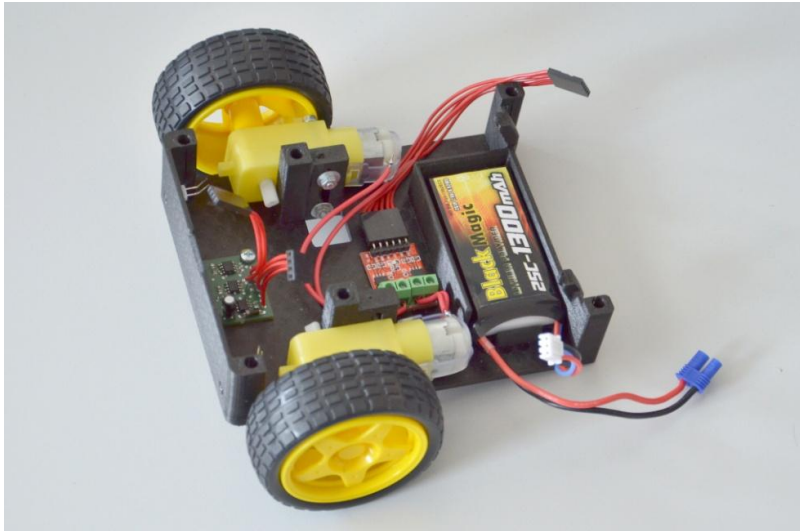
### Příloha č. 1 Mapování pinů DPS Chassisboard

Mapování pinů				
Pin DPS	Pin procesor	Název pinu	Funkce	Volný pin
<b>Pravá strana</b>				
1	15	RB5/KBI1/PWM4/PGM		7
2	14	RB4/KBI0/PWM5	US Echo	
3	11	RB3/PWM3	motor_B1	
4	10	RB2/PWM2	motor_A1	
5	9	RB1/PWM1	motor_B2	
6		GND		
7		nepřipojeno		
8	43	RC5/INT2/SCK/SCL	US Trig, SPI,I2C	5
9	8	RB0/PWM0	motor_A2	
10	42	RC4/INT1/SDI/SDA	SPI,I2C	3
11	40	RD2/SDI/SDA	SDI data in,I2C	2
<b>Zadní strana</b>				
12	38	RD0/T0CKI/T5CKI		10
13	37	RC3/T0CKI/T5CKI/INT0		11
14	41	RD3/SCK/SCL	SPI,I2C	4
15	39	RD1/SDO	SDI data out	1
16		nepřipojeno		
17		nepřipojeno		
18	18	MCLR/VPP/RE3		14
19	19	RA0/AN0	výstup RGB R1	
20	20	RA1/AN1	výstup RGB G1	
21	17	RB7/KBI3/PGD		9
22	16	RB6/KBI2/PGC		8
<b>Levá strana</b>				
23	25	RE0/AN6	BUT2	
24	24	RA5/AN5/LVDIN	výstup RGB B2	
25	32	RC0/T1OSO/T1CKI	BUT3	
26	26	RE1/AN7	BUT1	
27	27	RE2/AN8	řízení napájení RGB line senzoru	

28		+3V3		
29		GNDa2		
30		+5V5		
31		+5V5		
32	21	RA2/AN2/VREF- /CAP1/INDX	výstup RGB B1	
33	2	RD4/FLTA	BUT4	
<b>Přední strana</b>				
34	3	RD5/PWM4		
35	4	RD6/PWM6	LED1	
36	5	RD7/PWM7	LED2	
37	1	RC7/RX/DT/SDO	UART RX, IR IN	13
38	44	RC6/TX/CK/SS	UART TX, IR OUT	12
39		GND		
40		+3V3		
41	22	RA3/AN3/VREF+/CAP2/QEA	výstup RGB R2	6
42	23	RA4/AN4/CAP3/QEB	výstup RGB G2	
43	36	RC2/CCP1/FLTB	LED3	
44	35	RC1/T1OSI/CCP2/FLTA	řídící pin servomotoru	

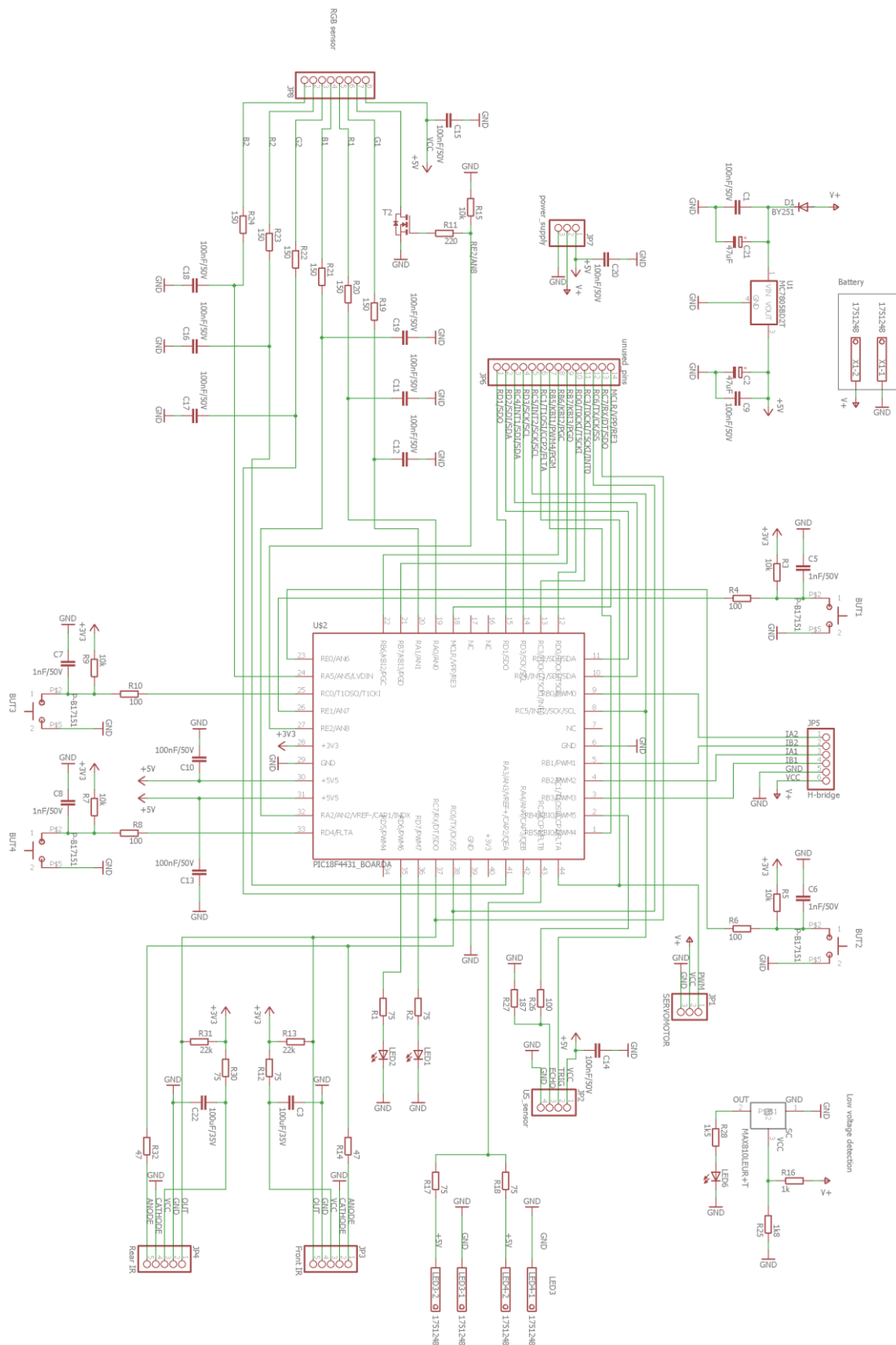
## Příloha č. 2      Fotodokumentace





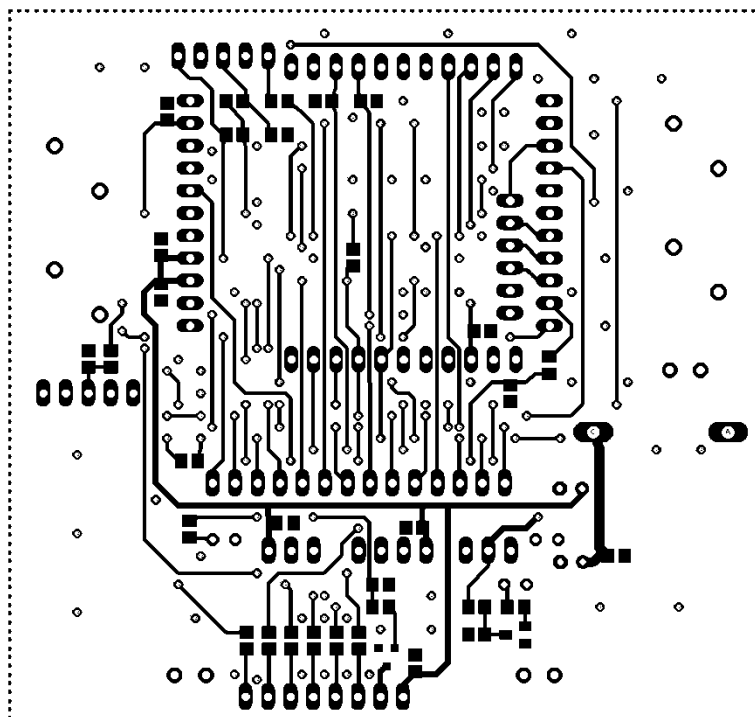
## Příloha č. 3 Schéma a návrh DPS Chassisboard

### DPS Chassisboard - schéma

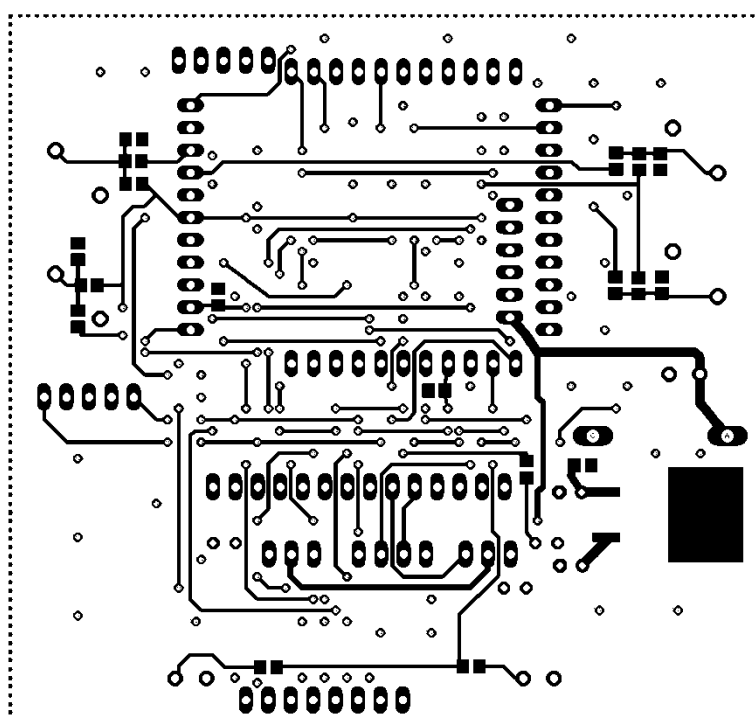




DPS Chassisboard - horní strana

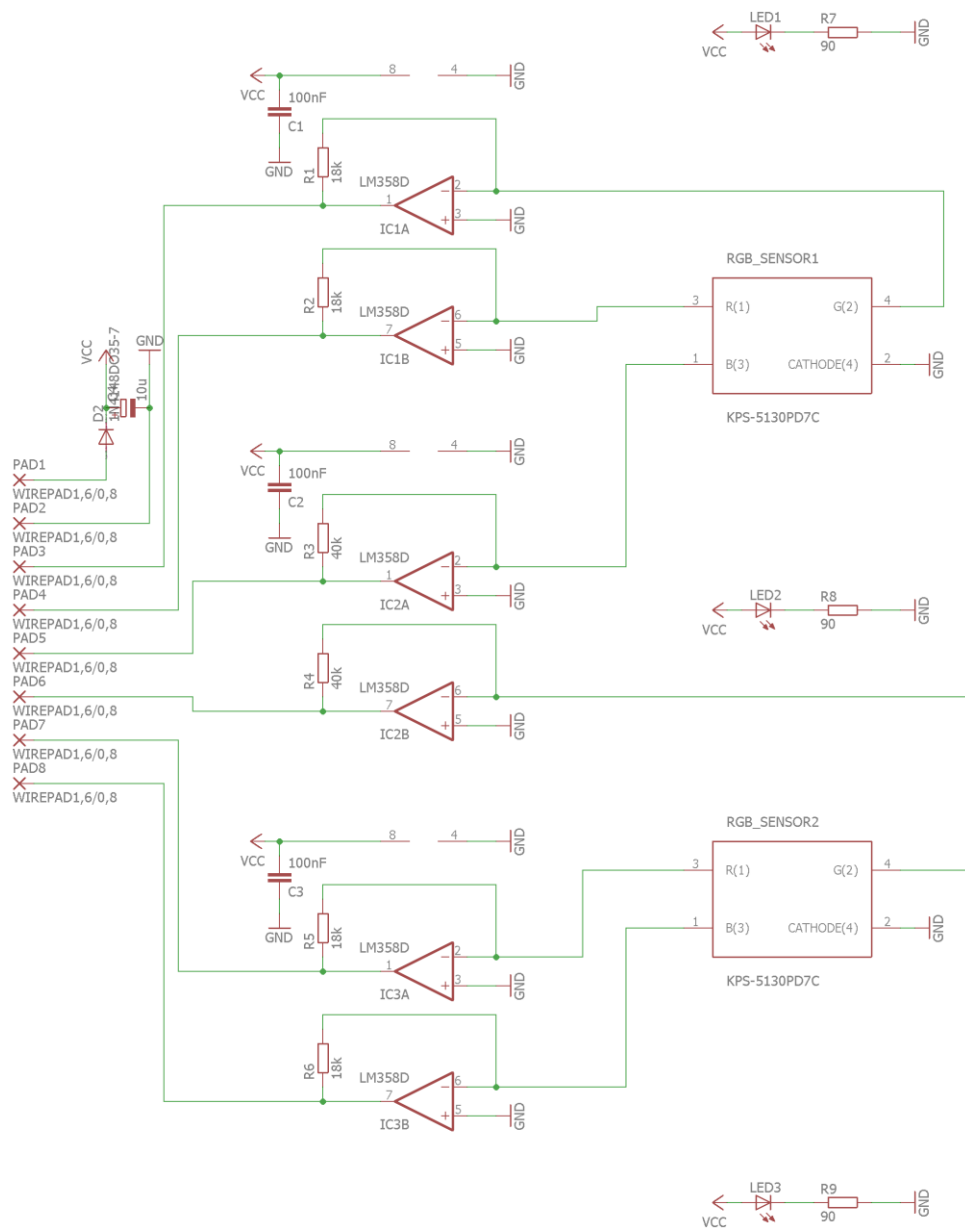


DPS Chassisboard - spodní strana

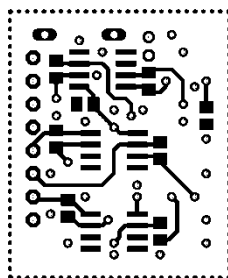


## Příloha č. 4 Schéma a návrh DPS RGB line sensor

### DPS RGB line sensor - schéma



DPS RGB line sensor - horní strana



DPS RGB line sensor - horní strana

